„Beiträge zur Physik der Kathodenzerstäubung“

(Auszug)

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Julius-Maximilians-Universität
zu Würzburg

Vorgelegt von:

Diplom-Physiker

Kurt Schiefer
aus Memmelsdorf bei Bamberg

Referent: Prof. Dr. H. Fetz

Tag der mündl. Prüfung:
23. Mai 1955

Würzburg 1955

Buchdruckerei Georg Graßer, Würzburg

EINLEITUNG

Trotz der frühen Entdeckung (1852) ist die Kathodenzerstäubung ein noch recht unbefriedigend gelöstes Problem der Gasentladungsphysik geblieben. Der Grund hierfür ist in erster Linie in der geringen Anzahl gesicherter experimenteller Unterlagen zu suchen: So interessiert z. B. in Hinblick auf die Hittorf'sche Verdampfungstheorie die Temperaturabhängigkeit der Kathodenzerstäubung („Temperatureffekt"). Zwar fehlt es nicht an Untersuchungen über dieses Thema, aber gegen die Zuverlässigkeit der bisherigen Ergebnisse sind grundsätzliche Bedenken einzuwenden:

Die Messungen wurden fast ausnahmslos bei hohen Drucken ($\sim$ 1 Torr) durchgeführt. Dabei kann ein erheblicher Anteil der bereits abgestäubten Teilchen unerwünschterweise wieder zur Zerstäubungsprobe zurückgelangen („Rückdiffusion").

Ferner bestand wegen einer unzweckmäßig gewählten Kombination von Zerstäubungsmaterial und Füllgas bei einer Reihe von Arbeiten der Verdacht, daß sich als Folge chemischer Reaktionen Oberflächenschichten gebildet haben, die zu einer Fälschung der Meßergebnisse führten.

Schließlich erwies sich das Untersuchungsmaterial als nicht ausreichend, um damit verallgemeinernde Aussagen über eine Beziehung zwischen Zerstäubung und Temperatur machen zu können.

Es erschien daher angebracht, die Messungen unter verbesserten Versuchsbedingungen in verschiedenen Füllgasen (Hg und Ar) und an einer größeren Zahl von Materialien erneut durchzuführen.

APPARATUR

Der Apparaturbeschreibung seien einige Bemerkungen vorangestellt, die für die Untersuchung des Temperatureffektes der Kathodenzerstäubung sowohl in der Hg- als auch in der Ar-Bogenentladung Gültigkeit besitzen:

Um chemische Reaktionen zwischen Zerstäubungsprobe und Füllgas auszuschließen, dürfen die Untersuchungen nur in Edelgasen und mit gewissen Einschränkungen auch in Hg vorgenommen werden. Als Zerstäubungsproben fanden dünne Drähte (im allgemeinen 0,4 mm ϕ) aus Eisen, Nickel, Molybdän, Tantal und Platin Verwendung.

Als Entladungsform wurde die Bogenentladung der Glimmentladung vorgezogen, da bei ersterer Brenn- und Zerstäubungsspannung unabhängig voneinander gewählt werden können.

Die Rückdiffusion kann bei Wahl eines geeigneten Druckes vermieden werden, d. h. die mittlere freie Weglänge der abgestäubten Teilchen muß groß gegen den Radius der Drahtprobe sein, wenn keine Partikel mehr zur Probe zurückkehren sollen.

Die Messungen erfolgten bei einer Zerstäubungsspannung von 300 V. Bei dieser Spannung bleibt einerseits die Zerstäubungszeit in annehmbaren Grenzen, andererseits ist der Einfluß der durch Stoß der positiven Ionen auf die Drahtprobe erzeugten Sekundärelektronen relativ gering.

Die für die Zerstäubungsmessungen in Hg-Dampf verwendete Apparatur bestand im wesentlichen aus einem einseitig offenen Glasgefäß, dessen Verschluß gleichzeitig als Anode diente. Die gewendelten Drahtproben konnten an zwei gegen den Anodendeckel isolierten Durchführungen befestigt werden. Als Elektronenquelle diente eine Fleckkathode. Der Druck ($1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Torr) des Füllgases (Hg-Dampf) war durch die Temperatur (23° C) des Wasserbades, in dem sich die Zerstäubungsapparatur befand, festgelegt. Ein Druckanzeigegerät war daher nicht erforderlich.

Im Gegensatz zur eben beschriebenen Versuchsanordnung besaß die für die Zerstäubungsmessungen in Argon benutzte Apparatur eine Oxydkathode als Elektronenquelle. Durch eine Kathodenverschlußvorrichtung wurde die Kathode vor einer schädlichen Berührung mit Luft beim Öffnen des Gefäßes bewahrt.

Der dynamische Druck des Ar konnte mit einem Nadelventil geregelt und mit Hilfe eines Pirani-Manometers gemessen werden.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

MESSUNG DER TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DER KATHODENZERSTÄUBUNG

Bei den Messungen wurde besonderer Wert darauf gelegt, den Zerstäubungsstrom fälschende Störeffekte vernachlässigbar klein zu halten. Ferner kam es darauf an, der Bildung von Oberflächenschichten auf der Drahtprobe durch geeignete Maßnahmen (gutes Vakuum, kurze Wägezeit) entgegenzuwirken.

Zur Temperaturmessung fand die Änderung des spez. elektr. Widerstandes der Drahtprobe mit der Temperatur Anwendung. Für die Bestimmung von Temperaturen über 1000° C wurde die Abhängigkeit der Drahttemperatur von der zugeführten Heizleistung herangezogen.

Nach jedem Zerstäubungsversuch konnte der Gewichtsverlust der Probe mit einer Mikro-Dämpfungswaage ermittelt werden.

MESSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Temperaturabhängigkeit der Kathodenzerstäubung wurde untersucht an Molybdän, Tantal, Wolfram und Platin im Bereich von 300° bis 1500° C sowie an Eisen und Nickel zwischen 300° bis 850° C. In dem genannten Temperaturbereich zeigt die Kathodenzerstäubung kein einheitliches Verhalten. Während die Zerstäubung zwischen 300° bis 700° C eine Zunahme von etwa 200 % (bei Pt sogar 400 %) erkennen läßt, beträgt sie im Bereich von 700° bis 1500° C (in diesem Temperaturbereich konnten lediglich Mo, Ta, W und Pt gemessen werden) nur noch ca. 10 bis 15 %. Zur Erklärung dieses Verhaltens wurde angenommen, daß die Drahtprobe sich mit Quecksilber bedeckt, das noch bei einigen 100° C auf ihr haften und eine Zerstäubung des reinen Materials verhindern kann. Mit zunehmender Temperatur verschwindet die Hg-Schicht wieder. Die eigentliche Ursache dieser Erscheinung besteht offenbar darin, daß nicht nur die auf die Drahtprobe auftreffenden Ionen, die sich zu Hg-Atomen entladen, sondern auch die thermisch auftreffenden Hg-Atome eine stark temperaturabhängige Verweilzeit auf der Drahtoberfläche besitzen. Bei Temperaturen über 700° C wird die Verweilzeit der thermischen Hg-Atome so klein, daß erst jetzt die reine Zerstäubung vor sich gehen kann.

Zur Klärung der Frage, ob die Anlagerung von Hg an die Zerstäubungsprobe tatsächlich den Grund für den hohen Temperatureffekt darstellt, wurde die Abhängigkeit der Zerstäubung von der Temperatur (unter denselben Versuchsbedingungen wie bei den Untersuchungen in Hg-Dampf) in einer

Ar-Entladung gemessen. Im Gegensatz zu den in der Hg-Atmosphäre gewonnenen Ergebnissen, ist hier das Verhalten der Zerstäubung einheitlich. Im gesamten Temperaturbereich von 300°—1500° C nimmt die Zerstäubung nur um etwa 20 % zu.

ABHÄNGIGKEIT DER ZERSTÄUBUNG VON DER SUBLIMATIONSWÄRME

Faßt man in erster Näherung die Sublimationswärme als ein Maß für die Bindungsenergie auf, mit der die Atome eines Festkörpers zusammengehalten werden, so ist eine Abhängigkeit der Zerstäubbarkeit eines Elementes von dessen Sublimationswärme zu erwarten. Bisher waren nur qualitative Aussagen über eine derartige Beziehung bekannt. Im Verlaufe der vorliegenden Arbeit führten Untersuchungen an Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, Rh, Pd, Ag, Ta, W, Ir, Pt und Au zu einem quantitativ angebbaren Zusammenhang zwischen der Zerstäubung Z und der Sublimationswärme S, der sich gut durch folgende Formel wiedergeben läßt:

$$Z = a/S$$

Dabei ist a ein durch Z und S bestimmter Faktor. Be, Al und Ti fallen aus dem gesetzmäßigen Verlauf heraus. Es ist bemerkenswert, daß gerade diese Metalle eine ausgesprochen starke Affinität zu Sauerstoff besitzen. Da nun die Oxyde der Metalle im allgemeinen eine von dem reinen Metall abweichende Zerstäubbarkeit aufweisen, dürfte die Ausnahmestellung von Be, Al und Ti in erster Linie auf eine Oxydbildung zurückzuführen sein. An letzterer dürften bereits Spuren von Sauerstoff, die entweder aus dem Füllgas stammen oder von der Oxydkathode herrühren, beteiligt sein.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543521_0129